

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

22 APR 2004



REC'D 28 MAY 2004

WIPO PCT

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

REC'D 28 MAY 2004

WIPO PCT

Aktenzeichen: 103 17 159.2

Anmeldetag: 14. April 2003

Anmelder/Inhaber: LITEF GmbH, 79115 Freiburg/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Kompensation eines
Nullpunktfehlers in einem Corioliskreisel

IPC: G 01 C 19/56

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 6. April 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Stremme

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

A 9161
03/00
EDV-L

MÜLLER · HOFFMANN & PARTNER - PATENTANWÄLTE

European Patent Attorneys - European Trademark Attorneys

Innere Wiener Strasse 17
D-81667 München

Anwaltsakte: 54.345

Mü/My/sat

Anmelderzeichen: LTF-202-DE

14.04.2003

LITEF GmbH

Lörracher Str. 18
D-79115 Freiburg

**Verfahren zur Kompensation
eines Nullpunktfehlers in einem Corioliskreisel**

Beschreibung

1 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kompensation eines Nullpunktfehlers in einem Corioliskreisel.

Corioliskreisel (auch Vibrationskreisel genannt) werden in zunehmendem Umfang zu Navigationszwecken eingesetzt. Corioliskreisel weisen ein Massensystem auf, das in Schwingungen versetzt wird. Diese Schwingung ist in der Regel eine Überlagerung einer Vielzahl von Einzelschwingungen. Diese Einzelschwingungen des Massensystems sind zunächst voneinander unabhängig und lassen sich jeweils abstrakt als "Resonatoren" auffassen. Zum Betrieb eines Vibrationskreisels sind wenigstens zwei Resonatoren erforderlich: einer dieser Resonatoren (erster Resonator) wird künstlich zu Schwingungen angeregt, die im Folgenden als "Anregungsschwingung" bezeichnet wird. Der andere Resonator (zweiter Resonator) wird nur dann zu Schwingungen angeregt, wenn der Vibrationskreisel bewegt/gedreht wird. In diesem Fall treten nämlich Corioliskräfte auf, die den ersten Resonator mit dem zweiten Resonator koppeln, der Anregungsschwingung des ersten Resonators Energie entnehmen und diese auf die Ausleseschwingung des zweiten Resonators übertragen. Die Schwingung des zweiten Resonators wird im Folgenden als "Ausleseschwingung" bezeichnet. Um Bewegungen (insbesondere Drehungen) des Corioliskreisels zu ermitteln, wird die Ausleseschwingung abgegriffen und ein entsprechendes Auslesesignal (z. B. das Ausleseschwingungs-Abgriffssignal) daraufhin untersucht, ob Änderungen in der Amplitude der Ausleseschwingung, die ein Maß für die Drehung des Corioliskreisels darstellen, auftreten sind. Corioliskreisel können sowohl als Open-Loop-Systeme als auch als Closed-Loop-Systeme realisiert werden. In einem Closed-Loop-System wird über jeweilige Regelkreise die Amplitude der Ausleseschwingung fortlaufend auf einen festen Wert - vorzugsweise null - zurückgestellt.

Im Folgenden wird zur weiteren Verdeutlichung der Funktionsweise eines Corioliskreisels unter Bezugnahme auf Figur 2 ein Beispiel eines Corioliskreisels in Closed-Loop-Ausführung beschrieben.

Ein solcher Corioliskreisel 1 weist ein in Schwingungen versetzbares Massensystem 2 auf, das im Folgenden auch als "Resonator" bezeichnet wird. Diese Bezeichnung ist zu unterscheiden von den oben erwähnten "abstrakten" Resonatoren, die Einzelschwingungen des "echten" Resonators darstellen. Wie bereits er-

1 wähnt, kann der Resonator 2 als System aus zwei "Resonatoren" (erster Resonator 3 und zweiter Resonator 4) aufgefasst werden. Sowohl der erste als auch der zweite Resonator 3, 4 sind jeweils an einen Kraftgeber (nicht gezeigt) und an ein Abgriffssystem (nicht gezeigt) gekoppelt. Das Rauschen, das durch die Kraftgeber und die Abgriffssysteme erzeugt wird, ist hier durch Noise1 (Bezugszeichen 5) und Noise2 (Bezugszeichen 6) schematisch angedeutet.

Der Corioliskreisel 1 weist des Weiteren vier Regelkreise auf:

10 Ein erster Regelkreis dient zur Regelung der Anregungsschwingung (d.h. der Frequenz des ersten Resonators 3) auf eine feste Frequenz (Resonanzfrequenz). Der erste Regelkreis weist einen ersten Demodulator 7, ein erstes Tiefpassfilter 8, einen Frequenzregler 9, einen VCO ("Voltage Controlled Oscillator") 10 und einen ersten Modulator 11 auf.

15 Ein zweiter Regelkreis dient zur Regelung der Anregungsschwingung auf eine konstante Amplitude und weist einen zweiten Demodulator 12, ein zweites Tiefpassfilter 13 und einen Amplitudenregler 14 auf.

20 Ein dritter und ein vierter Regelkreis dienen zur Rückstellung derjenigen Kräfte, die die Ausleseschwingung anregen. Dabei weist der dritte Regelkreis einen dritten Demodulator 15, ein drittes Tiefpassfilter 16, einen Quadraturregler 17 und einen dritten Modulator 22 auf. Der vierte Regelkreis enthält einen vierten Demodulator 19, ein vierthes Tiefpassfilter 20, einen Drehratenregler 21 und einen zweiten Modulator 18.

Der erste Resonator 3 wird mit dessen Resonanzfrequenz ω_1 angeregt. Die resultierende Anregungsschwingung wird abgegriffen, mittels des ersten Demodulators 7 in Phase demoduliert, und ein demoduliertes Signalanteil wird dem ersten Tiefpassfilter 8 zugeführt, der daraus die Summenfrequenzen entfernt. Das abgegriffene Signal wird im Folgenden auch als Anregungsschwingungs-Abgriffssignal bezeichnet. Ein Ausgangssignal des ersten Tiefpassfilters 8 beaufschlagt einen Frequenzregler 9, der in Abhängigkeit des ihm zugeführten Signals den VCO 10 so regelt, dass die In-Phase-Komponente im Wesentlichen zu Null wird. Dazu gibt der VCO 10 ein Signal an den ersten Modulator 11, der seinerseits einen Kraftgeber so steuert, dass der erste Resonator 3 mit einer Anregungskraft beaufschlagt wird. Ist die In-Phase-Komponente Null, so schwingt der erste Re-

1 sonator 3 auf seiner Resonanzfrequenz ω_1 . Es sei erwähnt, dass sämtliche Modulatoren und Demodulatoren auf Basis dieser Resonanzfrequenz ω_1 betrieben werden.

5 Das Anregungsschwingungs-Abgriffssignal wird des Weiteren dem zweiten Regelkreis zugeführt und durch den zweiten Demodulator 12 demoduliert, dessen Ausgabe das zweite Tiefpassfilter 13 passiert, dessen Ausgangssignal wiederum dem Amplitudenregler 14 zugeführt wird. In Abhängigkeit dieses Signals und eines Soll-Amplitudengebers 23 regelt der Amplitudenregler 14 den ersten Modulator 11 so, dass der erste Resonator 3 mit einer konstanten Amplitude schwingt (d.h. die Anregungsschwingung weist eine konstante Amplitude auf).

Wie bereits erwähnt wurde, treten bei Bewegung/Drehungen des Corioliskreisels 1 Corioliskräfte – in der Zeichnung durch den Term $FC \cdot \cos(\omega_1 \cdot t)$ angedeutet – auf, die den ersten Resonator 3 mit dem zweiten Resonator 4 koppeln und damit den zweiten Resonator 4 zum Schwingen anregen. Eine resultierende Ausleseschwingung der Frequenz ω_2 wird abgegriffen, sodass ein entsprechendes Ausleseschwingungs-Abgriffssignal (Auslesesignal) sowohl dem dritten als auch dem vierten Regelkreis zugeführt wird. Im dritten Regelkreis wird dieses Signal durch den dritten Demodulator 15 demoduliert, Summenfrequenzen durch das dritte Tiefpassfilter 16 entfernt und das tiefpassgefilterte Signal dem Quadraturregler 17 zugeführt, dessen Ausgangssignal den dritten Modulator 22 so beaufschlagt, dass entsprechende Quadraturanteile der Ausleseschwingung rückgestellt werden. Analog hierzu wird im vierten Regelkreis das Ausleseschwingungs-Abgriffssignal durch den vierten Demodulator 19 demoduliert, durchläuft das vierte Tiefpassfilter 20, und ein entsprechend tiefpassgefiltertes Signal beaufschlagt einerseits den Drehratenregler 21, dessen Ausgangssignal proportional zur momentanen Drehrate ist und als Drehraten-Messergebnis auf einen Drehratenausgang 24 gegeben wird, und andererseits den zweiten Modulator 18, der entsprechende Drehratenanteile der Ausleseschwingung rückstellt.

Ein Corioliskreisel 1 wie oben beschrieben kann sowohl doppelresonant als auch nichtdoppelresonant betrieben werden. Wird der Corioliskreisel 1 doppelresonant betrieben, so ist die Frequenz ω_2 der Ausleseschwingung annähernd gleich der Frequenz ω_1 der Anregungsschwingung, wohingegen im nichtdoppelresonanten Fall die Frequenz ω_2 der Ausleseschwingung verschieden von der Frequenz ω_1 der Anregungsschwingung ist. Im Fall der Doppelresonanz beinhaltet

1 tet das Ausgangssignal des vierten Tiefpassfilters 20 entsprechende Information über die Drehrate, im nichtdoppelresonanten Fall dagegen das Ausgangssignal des dritten Tiefpassfilters 16. Um zwischen den unterschiedlichen Betriebsarten doppelresonant/nichtdoppelresonant umzuschalten, ist ein Doppelschalter 25
5 vorgesehen, der die Ausgänge des dritten und vierten Tiefpassfilters 16, 20 wahlweise mit dem Drehratenregler 21 und dem Quadraturregler 17 verbindet.

Aufgrund unvermeidbarer Fertigungstoleranzen müssen leichte Fehlausrichtungen zwischen den Anregungskräften/Rückstellkräften/Kraftgebern/Abgriffen
10 und den Eigenschwingungen des Resonators 2 (d.h. den realen Anregungs- und Auslesemoden des Resonators 2) in Kauf genommen werden. Dies hat zur Folge, dass das Ausleseschwingungs-Abgriffssignal mit Fehlern behaftet ist. In einem derartigen Fall setzt sich das Ausleseschwingungs-Abgriffssignal also aus einem Teil, der
15 von der realen Ausleseschwingung herrührt, zusammen. Der unerwünschte Teil verursacht einen Nullpunktfehler des Corioliskreisels, dessen Größe jedoch nicht bekannt ist, da beim Abgreifen des Ausleseschwingungs-Abgriffsignals nicht zwischen diesen beiden Teilen differenziert werden kann.

20 Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe ist es, ein Verfahren bereit zu stellen, mit dem der oben beschriebene Nullpunktfehler bestimmt werden kann.

Diese Aufgabe wird durch das Verfahren gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Ferner stellt die Erfindung einen Corioliskreisel gemäß Patentanspruch 6 bereit. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des Erfindungsgedankens finden sich in jeweiligen Unteransprüchen.

Erfindungsgemäß wird bei einem Verfahren zur Ermittlung eines Nullpunktfehlers eines Corioliskreisels die Frequenz (vorzugsweise die Resonanzfrequenz) der
30 Ausleseschwingung moduliert, das Ausgangssignal eines Drehratenregelkreises oder Quadraturregelkreises des Corioliskreisels synchron zur Modulation der Frequenz (Resonanzfrequenz) der Ausleseschwingung demoduliert, um ein Hilfssignal zu erhalten, das ein Maß für den Nullpunktfehler ist. Dann wird ein Kompensationssignal erzeugt, das auf den Eingang des Drehratenregelkreises oder
35 Quadraturregelkreises gegeben wird, wobei das Kompensationssignal so geregelt wird, dass die Größe des Hilfssignals möglichst klein wird.

1 Unter "Resonator" wird hierbei das gesamte in Schwingung versetzbare Massen-
system des Corioliskreisels verstanden, also mit Bezug auf Fig. 2 der mit Be-
zugsziffer 2 gekennzeichnete Teil des Corioliskreisels.

5 Eine der Erfindung zugrunde liegende wesentliche Erkenntnis ist, dass eine Än-
derung des Ausgangssignals des Drehratenregelkreises/Quadraturregelkreises
aufgrund einer Frequenzänderung der Ausleseschwingung nur dann erfolgt,
wenn ein entsprechender Nullpunktfehler vorliegt, d. h. wenn Fehlausrichtun-
gen zwischen den Anregungskräften/Rückstellkräften/Kraftgebern/Abgriffen
10 und den Eigenschwingungen des Resonators bestehen. Wenn man daher ein
Kompensationssignal, das den durch die Fehlausrichtungen bewirkten
Nullpunktfehler im Ausleseschwingungs-Abgriffssignal kompensiert, auf den Ein-
gang des Drehratenregelkreises/Quadraturregelkreises oder direkt auf das Aus-
leseschwingungs-Abgriffssignal gibt, so ändert sich auch das Ausgangssignal des
15 Drehratenregelkreises/Quadraturregelkreises bei einer Frequenzänderung (ins-
besondere Resonanzfrequenzänderung) der Ausleseschwingung nicht mehr. Da
die Änderung des Ausgangssignals des Drehratenregelkreises/Quadraturre-
gelkreises durch das Hilfssignal erfasst wird, kann der Nullpunktfehler wie folgt
ermittelt und kompensiert werden: Das Kompensationssignal wird so geregelt,
20 dass das Hilfssignal (und damit die Änderung im Ausgangssignal der Regelkrei-
se) möglichst klein wird.

Vorzugsweise ist die Modulation der Frequenz (Resonanzfrequenz) der Auslese-
schwingung eine mittelwertfreie Modulation, die beispielsweise mit 55 Hz er-

25 folgt.

Vorzugsweise wird das Hilfssignal tiefpassgefiltert, und auf Basis des tiefpassge-
filterten Hilfssignals wird das Kompensationssignal erzeugt. Das Kompensati-
onssignal kann beispielsweise erzeugt werden durch Multiplikation eines gere-
gelten, auf Basis des Hilfssignal erzeugten Signals mit einem Signal, das aus ei-
30 nem Amplitudenregler zur Regelung der Amplitude der Anregungsschwingung
stammt. Vorzugsweise wird das Hilfssignal aus dem Ausgangssignal des Quadra-
turregelkreises ermittelt, und das Kompensationssignal auf den Eingang des
Drehratenregelkreises gegeben.

35

Die Erfindung stellt weiterhin einen Corioliskreisel bereit, der gekennzeichnet
ist durch eine Einrichtung zur Bestimmung des Nullpunktfehlers des Coriolis-

1 kreisels, mit:

- einer Modulationseinheit, die die Frequenz der Ausleseschwingung des Corioliskreisels moduliert,
- einer Demodulationseinheit, die das Ausgangssignal eines Drehratenregelkreises oder Quadraturregelkreises des Corioliskreisels synchron zur Modulation der Frequenz der Ausleseschwingung demoduliert, um ein Hilfssignal zu erhalten, das ein Maß für den Nullpunktfehler ist, und
- einer Regeleinheit, die ein Kompensationssignal erzeugt und auf den Eingang des Drehratenregelkreises oder Quadraturregelkreises gibt, wobei die Regeleinheit das Kompensationssignal so regelt, dass das Hilfssignal möglichst klein wird.

Im Folgenden wird unter Bezugnahme auf die begleitenden Figuren die Erfindung in beispielweiser Ausführungsform näher erläutert. Es zeigen:

15 **Figur 1** den schematischen Aufbau eines Corioliskreisels, der auf dem erfindungsgemäßen Verfahren basiert;

20 **Figur 2** den schematischen Aufbau eines herkömmlichen Corioliskreisels;

25 **Figur 3** eine Skizze zur Erläuterung des Zusammenspiels von Resonator, Kraftgebersystem und Abgriffssystem in einem Corioliskreisel;

30 **Figuren 4a bis 4d** eine Skizze zur Erläuterung der Kräfte und Schwingungsamplituden für einen Corioliskreisel in Doppelresonanz;

35 **Figuren 5a bis 5d** eine Skizze zur Erläuterung der Kräfte und Schwingungsamplituden für einen Corioliskreisel nahe Doppelresonanz;

40 **Figuren 6a bis 6d** eine Skizze zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens bei Doppelresonanz.

45 **Figuren 7a bis 7d** eine Skizze zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens nahe Doppelresonanz.

50 In den Zeichnungen sind Teile bzw. Einrichtungen, die denen aus Figur 2 entsprechen, mit den selben Bezugszeichen gekennzeichnet und werden nicht

1 nochmals erläutert.

Zunächst soll die generelle Funktionsweise eines Corioliskreisels anhand der Figuren 3 bis 5 in Form einer Zeigerdiagrammdarstellung (Gauß'sche Zahlenebene) nochmals erläutert werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren funktioniert nur, wenn im Mittel im Wesentlichen Doppelresonanz vorliegt. Die mit "Nahe Doppelresonanz" gekennzeichneten Zeichnungen zeigen die geänderten Verhältnisse, wenn durch die Modulation der 10 Resonanzfrequenz der Ausleseschwingung die Situation "Nahe Doppelresonanz" vorliegt.

Figur 3 zeigt schematisch einen Corioliskreisel, genauer gesagt ein System 40 aus Resonator (nicht gezeigt), Kraftgebersystem 41 und Abgriffssystem 42 in einem Corioliskreisel. Weiterhin sind mögliche Schwingungen x (Anregung) und y (Auslesung) angedeutet, die bei Drehungen senkrecht zur Zeichenebene durch Corioliskräfte miteinander verkoppelt werden. Die x-Schwingung (komplex; in Resonanz rein imaginär) wird durch die Wechselkraft mit der komplexen Amplitude F_x (hier nur Realteil F_{xr}) angeregt. Die y-Schwingung (komplex) wird durch 20 die Wechselkraft der komplexen Amplitude F_y mit dem Realteil F_{yr} und dem Imaginärteil F_{yi} rückgestellt. Die Drehzeiger $\exp(i*\omega*t)$ sind jeweils weggelassen.

Figuren 4a bis 4d zeigen die komplexen Kräfte und komplexen Schwingungsamplituden für einen idealen Corioliskreisel mit gleicher Resonanzfrequenz von x- und y-Schwingung (Doppelresonanz). Die Kraft F_{xr} wird so geregelt, dass sich 25 eine rein imaginäre, konstante x-Schwingung einstellt. Dies wird erreicht durch einen Amplitudenregler 14, der den Betrag der x-Schwingung regelt, sowie einen Phasenregler 10/Frequenzregler 9, der die Phase der x-Schwingung regelt. Die Betriebsfrequenz ω_1 wird so geregelt, dass die x-Schwingung rein imaginär wird, 30 d.h. der Realteil der x-Schwingung auf null geregelt wird.

Die Corioliskraft bei Drehung, FC , ist nun rein reell, da die Corioliskraft der Geschwindigkeit der x-Schwingung proportional ist. Haben beide Schwingungen die gleiche Resonanzfrequenz, so gestaltet sich die y-Schwingung, verursacht 35 durch die Kraft FC , wie in Fig. 4d dargestellt. Sind die Resonanzfrequenzen von x- und y-Schwingung leicht verschieden, so liegen komplexe Kräfte und komplexe Schwingungsamplituden vor, die sich wie in Figuren 5a bis 5d gezeigt gestalten. Insbesondere liegt eine durch FC angeregte y-Schwingung wie in Figur 5d ge-

1 zeigt vor.

Bei Vorliegen von Doppelresonanz ist der Realteil des y -Abgriffssignals null, bei Nichtvorliegen hingegen nicht. In beiden Fällen wird bei rückgestellten Kreiseln 5 die Corioliskraft FC durch einen Regler für Fy_r , der FC kompensiert, genullt. Bei Corioliskreiseln, die doppelresonant betrieben werden, wird der Imaginärteil von y mittels Fy_r genullt, der Realteil von y wird mittels Fy_i genullt. Die Bandbreite der beiden Regelungen beträgt etwa 100 Hz.

10 Nun wird unter Bezugnahme auf Figur 1 das erfindungsgemäße Verfahren in beispielweiser Ausführungsform näher erläutert.

Ein rückstellender Corioliskreisel 1' ist zusätzlich mit einer Demodulationseinheit 26, einem fünften Tiefpassfilter 27, einer Regeleinheit 28, einer Modulationseinheit 29 und einem ersten Multiplikator 30 beziehungsweise alternativ einem zweiten Multiplikator 31 versehen.

Die Modulationseinheit 29 moduliert die Frequenz der Ausleseschwingung des Resonators 2 mit einer Frequenz ω_{mod} . Ein Ausgangssignal des Quadraturregelkreises wird der Demodulationseinheit 26 zugeführt, die dieses Signal synchron zur Frequenz ω_{mod} demoduliert, um ein Hilfssignal zu erhalten. Liegt ein Nullpunktfehler vor (d.h. liegen Fehlausrichtungen zwischen den Anregungskräften/Rückstellkräften/Kraftgebern/Abgriffen und den Eigenschwingungen des Resonators 2 vor), so ändert sich die Stärke des Hilfssignals in Abhängigkeit 20 der Frequenz der Ausleseschwingung. Das Hilfssignal wird dem fünften Tiefpassfilter 27 zugeführt, das ein tiefpassgefiltertes Signal erzeugt und dieses der Regeleinheit 28 zuführt. Die Regeleinheit 28 erzeugt auf Basis des tiefpassgefilterten Hilfssignals ein Signal, das an den ersten Multiplikator 30 ausgegeben wird. Dieser multipliziert das von der Regeleinheit 28 ausgegebene Signal mit einem 25 Signal, das aus dem Amplitudenregler 14 zur Regelung der Amplitude der Anregungsschwingung stammt. Ein durch die Multiplikation entstehendes Kompensationssignal wird auf den Eingang des Drehratenregelkreises aufsummiert. Die Regeleinheit 28 regelt das dem ersten Multiplikator 30 zugeführte Signal so, dass die Größe des Hilfssignals möglichst klein wird. Damit ist der Nullpunktfehler beseitigt. Des Weiteren kann die Größe des Nullpunktfehlers durch das 30 Kompensationssignal bestimmt werden, das ein Maß für den Nullpunktfehler darstellt. Alternativ kann das Ausgangssignal der Regeleinheit 28 dem zweiten 35

1 Multiplikator 31 zugeführt werden, der dieses Signal mit dem Anregungsschwingungs-Abgriffssignal multipliziert und ein dadurch erzeugtes Kompensationssignal auf das Ausleseschwingungs-Abgriffssignal aufaddiert. Der Begriff "Regeleinheit" ist nicht auf die Regeleinheit 28 beschränkt, sondern kann auch die Kombination aus Regeleinheit 28 und dem ersten bzw. zweiten Multiplikator 30, 31 bedeuten.

Das der Demodulationseinheit 26 zugeführte Signal kann alternativ auch an einer anderen Stelle innerhalb der Regelkreise abgegriffen werden.

10

Das eben beschriebene erfindungsgemäße Verfahren lässt sich unter Bezugnahme auf Figuren 6a bis 6d und 7a bis 7d auch wie folgt darstellen:

Der Abgriff der y-Schwingung (zweiter Resonator x2, 4) "sieht" i. a. auch einen Teil der x-Schwingung (erster Resonator x1, 3): $a_{21} \cdot x$. Dadurch wird ein Nullpunktfehler des Corioliskreisels verursacht, den es zu ermitteln gilt. Figuren 6a bis 6d zeigen die Situation bei Doppelresonanz, Figuren 7a bis 7d die Situation nahe Doppelresonanz. In beiden Fällen wird das Summensignal von tatsächlicher y-Bewegung und $a_{21} \cdot x$ mittels F_{yi} und F_{yr} "genullt". Wenn a_{21} ungleich null ist, ergibt sich bei einer Drehrate null F_{xr} zu ungleich null (Nullpunktfehler). F_{yi} wird nur null, wenn Doppelresonanz vorliegt. Bei Abweichungen der Resonanzfrequenzen entsteht ein Quadraturbias.

25 Die Kompensation von a_{21} erfolgt nun erfindungsgemäß wie folgt. Der Kreisel sei in Doppelresonanz. Die elektronisch verstimmbare Resonanzfrequenz der Ausleseschwingung wird durch die Modulationseinheit 29 mittelwertfrei moduliert (z. B. mit 55 Hz) und das Signal F_{yi} durch die Demodulationseinheit 26 synchron bei geschlossenen Rückstellregelkreisen demoduliert. Wäre a_{21} null, so würde sich F_{yi} mit der Frequenz nicht ändern, es ändert sich nur im Falle 30 a_{21} ungleich null. Im letzteren Fall ist das tiefpassgefilterte, synchron demodulierte F_{yi} -Signal ungleich null. Das demodulierte Signal wird der Regeleinheit 28 (vorzugsweise in Form von Software realisiert) zugeführt, der einen Faktor a_{21comp} (Hilfsgröße) regelt. Vom Signal des y-Abgriffs wird ein geregelter Anteil der x-Bewegung, $a_{21comp} \cdot x$, abgezogen (vorzugsweise in der Software). Die Größe dieses Anteils, a_{21comp} , wird so geregelt, dass das demodulierte F_{yi} -Signal null wird. Damit befindet sich im so bereinigten Signal des y-Abgriffs kein x-Signalanteil mehr, und der durch die Auslesekreuzkopplung hervorgerufene Bias

1 verschwindet. Bei Doppelresonanz und gleichen Güten würde schon alleine ein Kraftkreuzkopplungsregler den durch die Auslesekreuzkopplung verursachten Bias nullen. Der Grund hierfür ist, dass die Modulation von F_{xr} auch ein wenig die Amplitude von x moduliert. Damit werden über den Kraftkreuzkopplungsregler die Summe von Kraftanteil von x in F_{yr} und der Ausleseanteil von x im y -Abgriff genutzt. Bei gleicher Güte verschwindet der Bias damit.

Alternativ kann zur Modulation der Ausleseschwingung auch Rauschen verwendet werden. In einem derartigen Fall findet entsprechende synchrone Demodulation des Rauschanteils im Auslesesignal Anwendung.

15

20

25

30

35

Patentansprüche

- 1 1. Verfahren zur Kompensation eines Nullpunktfehlers eines Corioliskreisels (1'), bei dem
 - die Frequenz der Ausleseschwingung moduliert wird,
 - das Ausgangssignal eines Drehratenregelkreises oder Quadraturregelkreises des Corioliskreisels (1') synchron zur Modulation der Frequenz der Ausleseschwingung demoduliert wird, um ein Hilfssignal zu erhalten, das ein Maß für den Nullpunktfehler ist,
 - ein Kompensationssignal erzeugt wird, das auf den Eingang des Drehratenregelkreises oder Quadraturregelkreises gegeben wird, wobei
 - das Kompensationssignal so geregelt wird, dass die Größe des Hilfssignals möglichst klein wird.
- 10 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Modulation der Frequenz der Ausleseschwingung eine mittelwertfreie Modulation ist.
- 15 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Hilfssignal tiefpassgefiltert wird, und auf Basis des tiefpassgefilterten Hilfssignals das Kompensationssignal erzeugt wird.
- 20 4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kompensationssignal erzeugt wird durch Multiplikation eines geregelten, auf Basis des Hilfssignal erzeugten Signals mit einem Signal, das von einem Amplitudenregler zur Regelung der Amplitude der Anregungsschwingung stammt.
- 25 5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Hilfssignal aus dem Ausgangssignal des Quadraturregelkreises ermittelt wird, und das Kompensationssignal auf den Eingang des Drehratenregelkreises gegeben wird.
- 30 6. Corioliskreisel (1'), **gekennzeichnet durch** eine Einrichtung zur Bestimmung des Nullpunktfehlers des Corioliskreisels (1'), mit:
 - einer Modulationseinheit (29), die die Frequenz der Ausleseschwingung des Corioliskreisels (1') moduliert,
 - einer Demodulationseinheit (26), die das Ausgangssignal eines Drehratenregelkreises oder Quadraturregelkreises des Corioliskreisels (1') synchron zur

- 1 Modulation der Frequenz der Ausleseschwingung demoduliert, um ein Hilfssignal zu erhalten, das ein Maß für den Nullpunktfehler ist, und
- einer Regeleinheit (28), die ein Kompensationssignal erzeugt und auf den Eingang des Drehratenregelkreises oder Quadraturregelkreises gibt, wobei die
- 5 Regeleinheit (28) das Kompensationssignal so regelt, dass das Hilfssignal möglichst klein wird.

10



15

20



25

30

35

Zusammenfassung

**Verfahren zur Kompensation
eines Nullpunktfehlers in einem Corioliskreisel**

Bei einem Verfahren zur Ermittlung des Nullpunktfehlers eines Corioliskreisels (1') wird die Frequenz der Ausleseschwingung moduliert, das Ausgangssignal eines Drehratenregelkreises oder Quadraturregelkreises des Corioliskreisels (1') synchron zur Modulation der Frequenz der Ausleseschwingung demoduliert, um ein Hilfssignal zu erhalten, das ein Maß für den Nullpunktfehler ist, ein Kompensationssignal erzeugt, das auf den Eingang des Drehratenregelkreises oder Quadraturregelkreises gegeben wird, wobei das Kompensationssignal so geregelt wird, dass die Größe des Hilfssignals möglichst klein wird.

(Fig. 1)

Figur für die Zusammenfassung

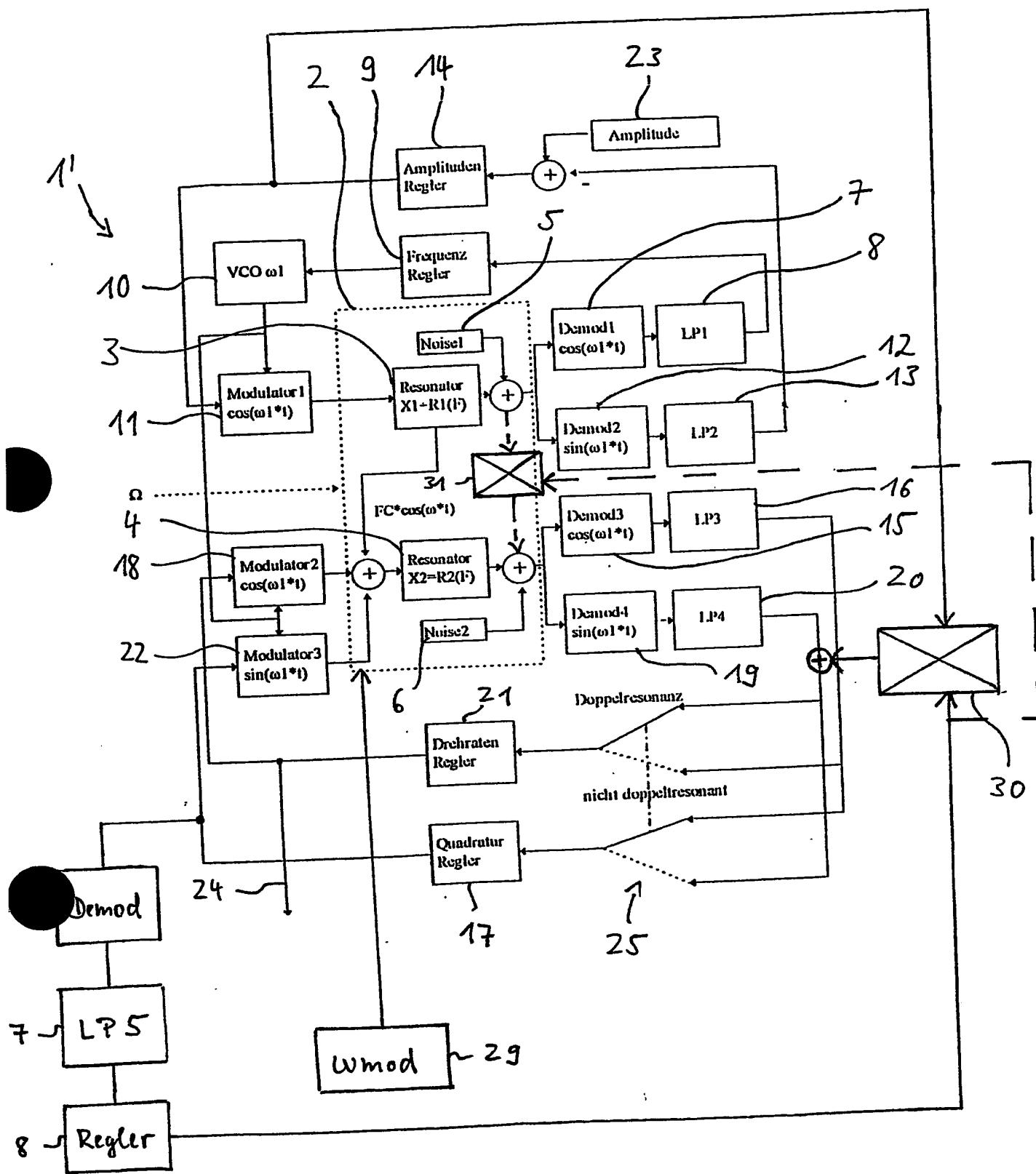


Fig. 1

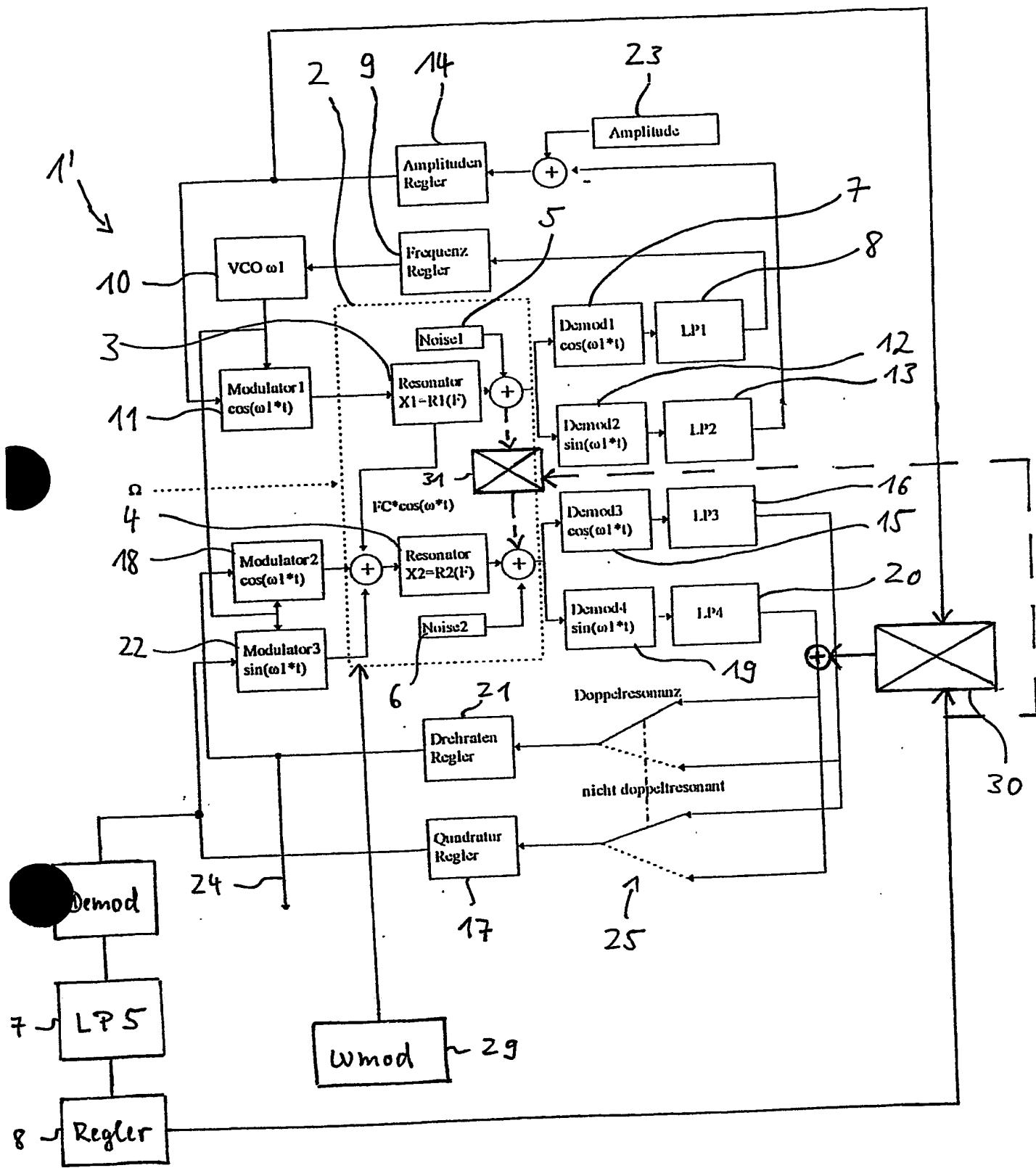
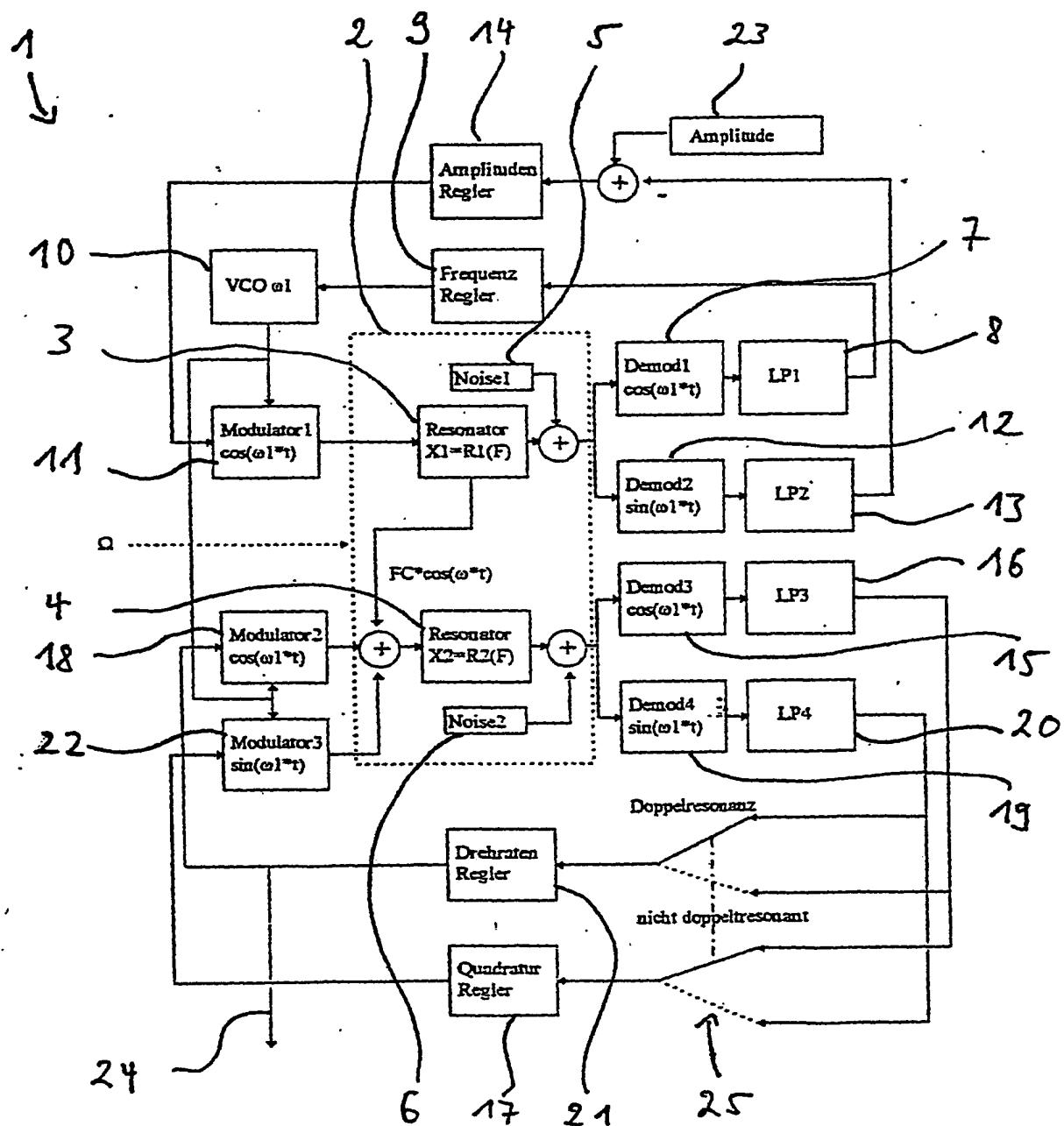
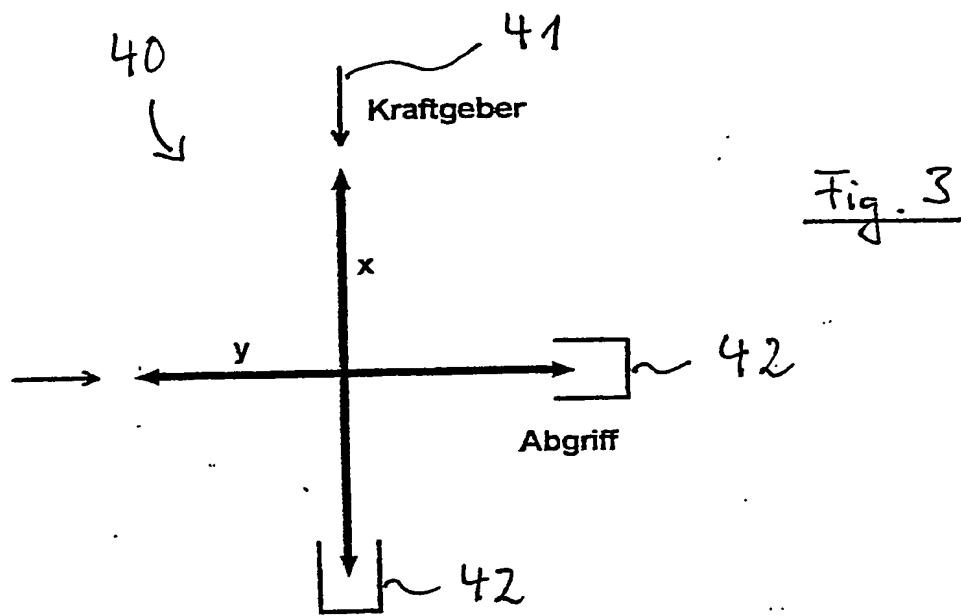


Fig. 1

Fig. 2





Kräfte

Bewegung

Fig. 4a

Fig. 4b

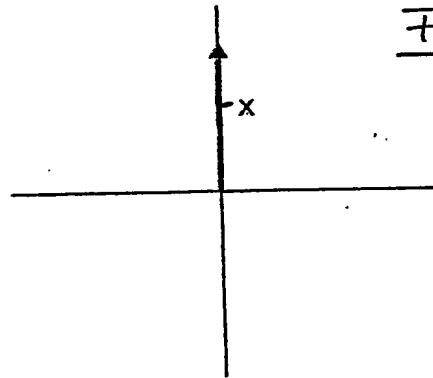
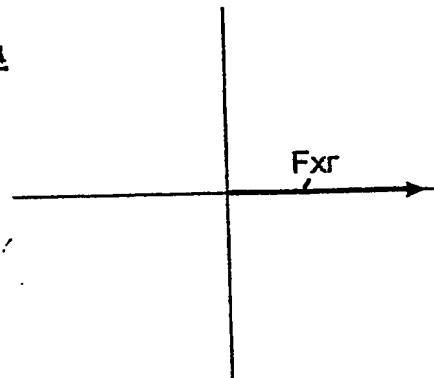
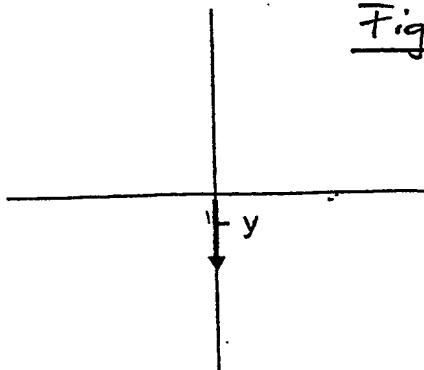
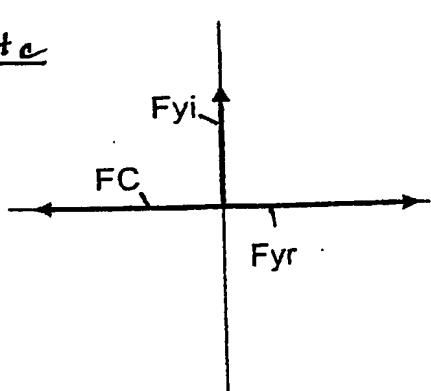
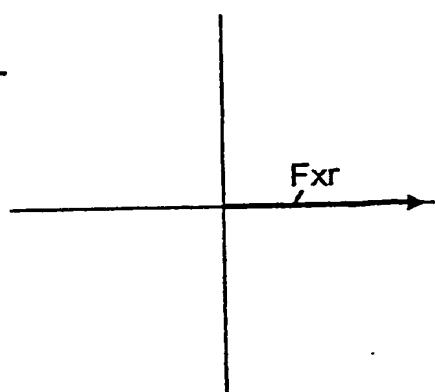


Fig. 4c

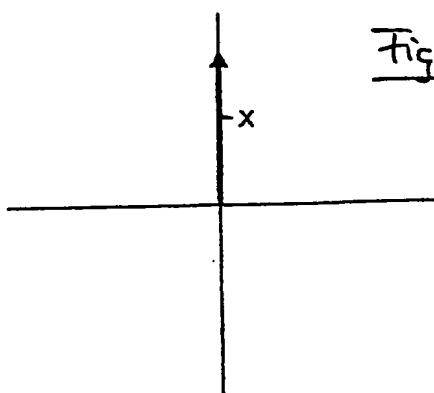
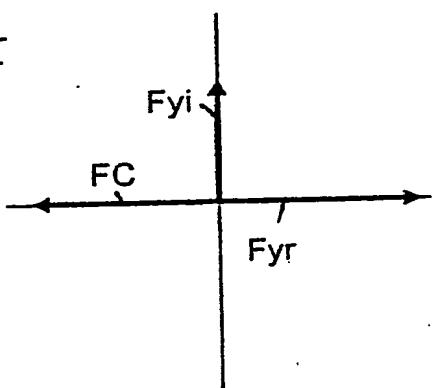
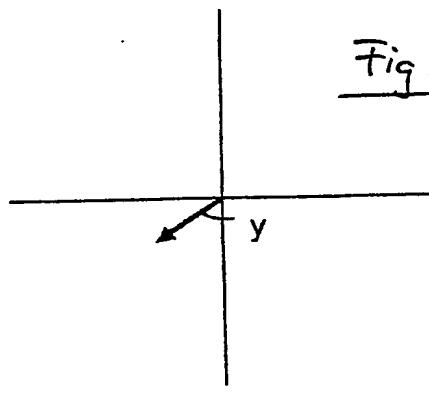
Fig. 4d



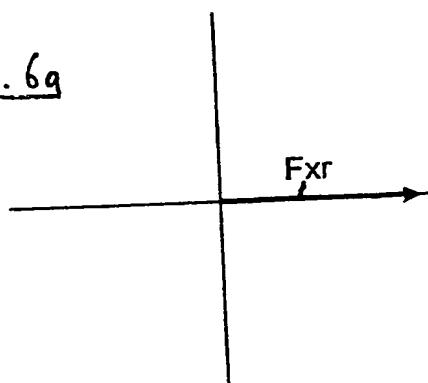
Kräfte

Fig. 5a

Bewegung

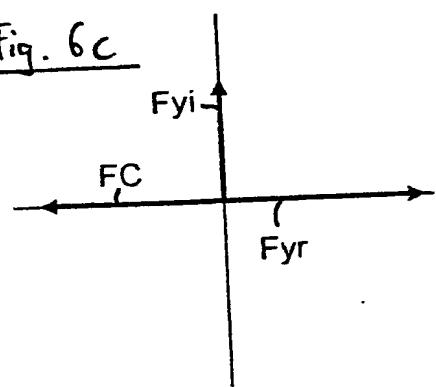
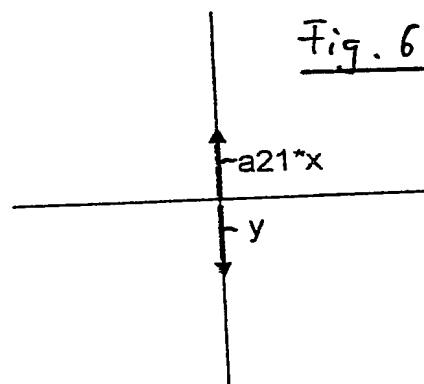
Fig. 5bFig. 5cFig. 5d

Kräfte

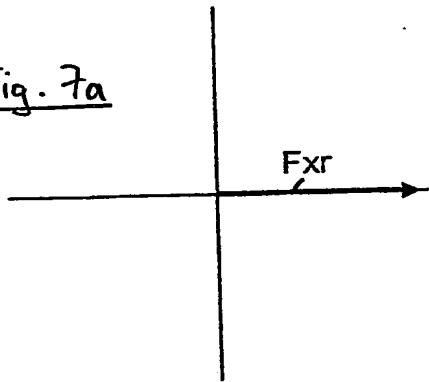
Fig. 6a

Doppelresonanz

Bewegung

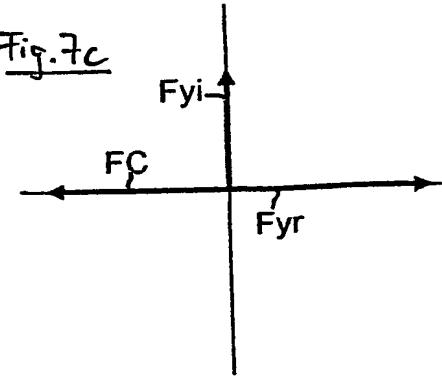
Fig. 6bFig. 6cFig. 6d

Kräfte

Fig. 7a

Nahe Doppelresonanz

Bewegung

Fig. 7bFig. 7cFig. 7d